



Makale / Research Paper

SPSS ve ANFİS ile Farklı Hafif Agregaların Kompozit Harç Üretiminde Teknik Değerlendirilmesi

Mustafa SİVRİ^{1a*}, Nükhet ŞAPCI^{1b}

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Isparta/TÜRKİYE
mustafasivri@isparta.edu.tr

Received/Geliş: 10.02.2022

Accepted/Kabul: 31.08.2022

Öz: Günümüz inşaat endüstrisinde yeni nesil malzemelerin üretimi ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu malzemelerin, kagir blok elemanları, plaka ürünler ve kompozit harçlar şeklinde kullanılabilirdiği görülmektedir. Özellikle son yıllarda binalarda enerji verimli ürünler kapsamında hafif, esnek, dış ortam koşullarına dayanıklı harç ürünlerinin geliştirilmesi de ihtiyaç haline gelmiştir. Bu nedenle, bu makalede farklı kökenli hafif agregaların 0,5-1 mm ve 1-2 mm boyut aralığında sınıflandırılarak ana hammadde olarak kullanılmasıyla polimer bileşenli kompozit formda bir dizi sıva hacı örnekleri hazırlanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalarda teknik mukayesenin yapılabilmesi için inşaat sektöründe mevcut binaların dış cephe uygulamalarında kullanılan geleneksel harç olarak isimlendirilen kontrol harç örnekleri de tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında bütün harç örnekleri günümüzde yürürlükte olan TS EN 998-1 standardı ve ilgili diğer standartlar kapsamında analiz edilerek teknik bulgular makale içerisinde detay olarak irdelenmiştir. Ayrıca deney girdi değerlerinin etkinliklerinin belirlenmesi için SPSS (V26) ile sonucu etkileyen parametreler belirlenmiştir. Sonucu etkileyen parametreler kullanılarak ANFİS ile veriler eğitilmiş ve test verileriyle sonuçlar kontrol edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeni nesil malzeme, kompozit harç, hafif agrega

Technical Evaluation of Different Lightweight Aggregates in Composite Mortar Production with SPSS and ANFİS

Abstract: The production and use of new generation materials in today's construction industry is becoming increasingly common. It is seen that these materials can be used as masonry block elements, plate products and composite mortars. Especially in recent years, it has become a necessity to develop light, flexible and durable mortar products within the scope of energy efficient products in buildings. Therefore, in this article, a series of plaster pile samples in composite form with polymer components have been prepared by classifying lightweight aggregates of different origins between 0.5-1 mm and 1-2 mm in size and using them as the main raw material. In addition, in order to make technical comparisons in experimental studies, control mortar samples called traditional mortar used in the exterior applications of existing buildings in the construction sector were also designed. Within the scope of the study, all mortar samples were analyzed within the scope of the current TS EN 998-1 standard and other relevant standards, and the technical findings were examined in detail in this article. In addition, the parameters affecting the result were determined with SPSS (V26) to determine the effectiveness of the experiment input values. Data were trained with ANFİS using parameters affecting the result and results were checked with test data.

Keywords: New generation material, composite mortar, lightweight aggregate

Bu makaleye atf yapmak için

Sivri M., Şapcı N., "SPSS ve ANFİS ile Farklı Hafif Agregaların Kompozit Harç Üretiminde Teknik Değerlendirilmesi", El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2022, 9 (3); 1069-1084.

How to cite this article

Sivri M., Şapcı N., "Technical Evaluation of Different Lightweight Aggregates in Composite Mortar Production", El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2022, 9 (3); 1069-1084.

ORCID: ^a0000-0002-2756-5357, ^b0000-0002-8390-9134

1. Giriş

Dünyada gelişen teknoloji ile birlikte inşaat sektörü de hızlı bir şekilde gelişmektedir. İnsanların sağlığı ve yaşamsal konforu için, sürekli yeni bina bileşenleri geliştirilmektedir. Ayrıca deprem yük ve davranışlarına karşı binalarda ölü yükü azaltmak amacıyla, hafif yapı malzemelerin sıklıkla inşaat endüstrisi uygulamalarında kullanıldığı da görülmektedir [1]. Bu bağlamda, bina duvar kesitlerinin elde edilmesinde hafif sıva harçları, yapı sektörünün birçok uygulamalarında kullanılmaya başlamıştır. Dolayısıyla farklı karakteristikteki birçok suni ve doğal hafif agrega türlerinin bu tip sıva harcı karışımlarında kullanıldığı da görülmektedir. Bunlar arasında en yaygın olanları; Pomza, volkanik cüruf, genleşmiş perlit, vermikülit, genleşmiş kil, genleşmiş cam agrega vs. gibi malzemelerdir. Bütün bu agregaların kendine özgü karakteristik özelliklerinin bulunması hafif sıva harçlarının yapısal özelliklerine doğrudan etki etmektedir [2,3]. Özellikle hafif duvar harcı karışımlarında agrega seçerken agrega boyutu ve tespiti en önemli faktörlerdir. Toplam partikül boyutları kaba tane boyutlarından mikronize boyutlara kadar uzanır [4].

Son yıllarda, ülkemizde çimento harçlarının birçok açıdan inşaat uygulamalarında gereken performansın sağlanmasında yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu nedenle yeni nesil kompozit yapıdaki çimento harçlarının kullanımları yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, farklı karakteristikteki hafif agregalar ve farklı kimyasal katkı malzeme kullanımları ile yeni nesil kompozit harçların teknik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla birçok ArGe çalışması sürdürülmektedir. Kimyasal katkı maddelerinin kompozit harçlarda kullanımı genellikle taze ve sertleşmiş durumdaki harcın bazı teknik özelliklerini iyileştirme amacına yöneliktir. Kimyasal katkı malzemelerinin harcın özelliklerini iyileştirmelerine rağmen, bilinçsiz kullanıldıklarında olumsuz etkileri de olmaktadır [5].

Bu çalışmada farklı orijinlerdeki hafif agregalar ve farklı kimyasal toz formdaki polimer bileşenlerle çimento esaslı kompozit yapıda TS EN 998-1 [6] standardının öngördüğü prensipler çerçevesinde bir dizi hazır harç örnekleri geliştirilmiştir. Çalışmada pomza, volkanik cüruf ve vermikülit gibi 3 farklı hafif agreganın ana hammadde olarak kullanıldığı ve farklı oranlarda toz formdaki polimer katkı ile her bir agrega türü için kendi içerisinde 5 farklı karışım kombinasyonu oluşturulmuştur. Ayrıca teknik karşılaştırmaların yapılabilmesi için günümüz inşaat sektöründe kullanılan geleneksel harçları temsil etmesi amacıyla kontrol harç tasarımları da yapılmıştır. Bütün harç serilerinde kompozit matris yapıda oluşturulan bu harç örneklerinin endüstriyel olarak kullanılabilirliğini irdelemek amacıyla ilgili standartlar kapsamında, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kapiler etkiyle su emme analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen teknik bulgular bağlamında, doğal hafif agregalarla üretilmiş kompozit bileşenli harçların geleneksel harçlara göre fiziko-mekanik açıdan performans özelliklerinin daha üstün olduğu gözlemlenmiştir. Böylece bu çalışmada, doğal hafif agregaların ana hammadde olarak kullanılmasıyla düşük birim hacim ağırlıkta, esnek özellik kazandırılmış, suya karşı direncinin arttığı ve yüksek hidrofobik özellikte kompozit yapıda harçlar üretilebileceği görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Araştırmada Isparta yöresinden temin edilen doğal dere kumları, deneysel çalışmada boyutlandırılarak kontrol harç serilerinde kullanılmıştır. Polimer bileşenli kompozit yapıdaki harç karışım tasarımlarında ise pomza, volkanik cüruf, vermikülit hafif agregaları boyutlandırılarak ana hammadde olarak kullanılmıştır (Şekil 1).

Her bir agrega türünün ana agrega olarak kullanıldığı kompozit harçlarda 5 farklı karışım kombinasyonu hazırlanmıştır. Bütün serilerde ideal bir harç formu oluşturmak ve kolay

işlenebilirlik sağlamak amacıyla agregalar 0,5-1 mm ve 1-2 mm boyut aralığında sınıflandırılarak karışımlarda kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda dere kumu agregasının kullanıldığı harç kombinasyonları “kontrol harçlar” olarak, diğer 3 farklı orijindeki hafif agregaların kullanıldığı harç kombinasyonları ise “polimerik bileşenli hafif kompozit harçlar” olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. Kompozit harçlarda kullanılan hafif agregalardan görünüm

Bağlayıcı bileşen olarak bütün karışım kombinasyonlarında CEM I 52,5R beyaz portland çimento ürünü ana bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Ayrıca karışıma aderans kazandırmak için söndürülmüş toz kireç kullanılmıştır. Kontrol harç serileri hariç diğer bütün karışımlarda hem dolgu yapması hem de işlenebilirlik özelliğini artırması için 40 mikron boyutlu mikronize kalsit kullanılmıştır. Ayrıca sıva ürünlerinin birim hacim ağırlığını düşürmek amacıyla kontrol karışımları hariç diğer tüm kompozit yapıdaki serilerde 1 mm boyut altı genleşmiş ince perlit kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada, kompozit matris yapıda harç örnekleri oluşturmak, harcın kıvamını dengelemek, ayrıca eğilme mukavemeti yüksek esnek yapıda ve dış ortam koşullarına dayanıklı harç ürünleri geliştirilmesi amacıyla toz formda katkı malzemeleri kullanılmıştır. Bunlar; kıvamlaştırıcı, hava sürükleyici, aderans artırıcı, su itici ve sentetik lif malzemeleri şeklinde olup “polimer katkı” olarak isimlendirilmiştir.

2.2. Metot

Bu çalışmada 1 adedi hafif agregasız (kontrol harcı) ve 3 farklı orijindeki hafif agregaların iki farklı boyutta kullanıldığı toplamda 20 adet çimento esaslı kompozit formda harç karışımları hazırlanmıştır. Öncelikle Isparta yöresindeki dere yataklarından elde edilen doğal dere kumu agregaları, kırma ve eleme işlemlerinden sonra 0,5-1 mm ve 1-2 mm boyut aralığında sınıflandırılmıştır. Deneysel çalışmada polimer katkısız kontrol harç tasarımları yapılarak farklı çimento oranlarında (%28-%36 aralığında) 5 ayrı karışım kombinasyonu (DK1-DK5) oluşturulmuştur. Günümüz inşaat sektöründe binaların iç ve dış cephe uygulamalarında kullanılan geleneksel harcı temsil etmesi bakımından kontrol harç serilerinde genleşmiş perlit ve mikronize kalsit kullanılmamıştır. Sadece ana agrega olarak dere kumu, bağlayıcı bileşen olarak çimento ve %11,5 oranında söndürülmüş toz kireç kullanılmıştır.

İkinci olarak ise, pomza (P1-P5), volkanik cüruf (VC1-VC5) ve vermikülit’den (VM1-VM5) oluşan 3 farklı hafif agreganın kendi serileri içerisinde ana agrega olarak kullanılmasıyla kompozit yapıda polimer bileşenli hafif harç karışımları oluşturulmuştur. Her bir hafif agrega türü kendi içinde ağırlıkça farklı çimento oranlarında (%28-%36 aralığında) 5 ayrı karışım kombinasyonundan oluşan toplamda 15 farklı seride harç örnekleri hazırlanmıştır. Hafif agregalı polimer bileşenli bu serilerde %16 oranında genleşmiş ince perlit, %6 oranında mikronize kalsit ve %8 oranında toz kireç kullanılmış ayrıca teknik mukayesenin yapılabilmesi için bütün serilerde sabit tutulmuştur. Toz formdaki polimer katkı oranı ise hafif agregalı bütün serilerde toplamda ağırlıkça %6,5 oranında kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmadaki diğer bir hedef ise, binaların dış cephelerinde kullanılacak sıva malzemelerinin suya karşı dirençlerinin artırılması veya hidrofobik özellik kazandırılmasıdır.

Bu nedenle hafif agregalı tüm karışım dizaynlarında sırasıyla (P1-P5, VC1-VC5, VM1-VM5) ağırlıkça %2,5'den-%2,9 oranına kadar %0,1'lik oran artışı şeklinde kullanılmıştır. Böylece su itici katkı ile birlikte bütün serilerde toplamda %6,5 oranında polimer katkı kullanılmıştır. Bütün karışım kombinasyonlarında görüldüğü gibi çimento oranı arttıkça azalan agrega miktarı nedeniyle (A/Ç) oranı da azalmaktadır. Çalışmada bu harçlara ait karışım kombinasyonları Tablo 1'de detay olarak verilmiştir.

Tablo 1. Kontrol harçlar ve polimer katkılı kompozit harçların karışım kombinasyonları, ağırlıkça yüzde (%) kullanım oranları

Bileşenler	Dere Kumu Agregalı Polimer Katksız Kontrol Harç Karışımları				
	DK1	DK2	DK3	DK4	DK5
0.5-1mm Dere kumu	33,80	32,60	31,40	30,20	29,00
1-2mm Dere kumu	26,70	25,90	25,10	24,30	23,50
B.Çimento	28,00	30,00	32,00	34,00	36,00
G.Perlit	-	-	-	-	-
Mik.Kalsit	-	-	-	-	-
T.Kireç	11,50	11,50	11,50	11,50	11,50
Polimer Katkı	-	-	-	-	-
Bileşenler	Pomza Agregalı Polimer Katkılı Kompozit Harç Karışımları				
	P1	P2	P3	P4	P5
0.5-1mm Pomza	21,30	20,10	18,90	17,70	16,50
1-2mm Pomza	14,20	13,40	12,60	11,80	11,00
B.Çimento	28,00	30,00	32,00	34,00	36,00
G.Perlit	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Mik.Kalsit	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
T.Kireç	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Polimer Katkı	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
Bileşenler	Volkanik Cüruf Agregalı Polimer Katkılı Kompozit Harç Karışımları				
	VC1	VC2	VC3	VC4	VC5
0.5-1mm Volkanik Curuf	21,30	20,10	18,90	17,70	16,50
1-2mm Volkanik Curuf	14,20	13,40	12,60	11,80	11,00
B.Çimento	28,00	30,00	32,00	34,00	36,00
G.Perlit	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Mik.Kalsit	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
T.Kireç	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Polimer Katkı	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
Bileşenler	Vermikülit Agregalı Polimer Katkılı Kompozit Harç Karışımları				
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5
0.5-1mm Vermikülit	21,30	20,10	18,90	17,70	16,50
1-2mm Vermikülit	14,20	13,40	12,60	11,80	11,00
B.Çimento	28,00	30,00	32,00	34,00	36,00
G.Perlit	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Mik.Kalsit	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
T.Kireç	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Polimer Katkı	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50

Karışımların taze harç kıvamına getirilmesinde uygulanabilir su/katı oranını belirlemek amacıyla, ASTM-C 230 [7] ve TS EN 1015-3 [8] akma tablası yöntemiyle kıvam analizi yapılmış olup bütün karışım serileri için uygun su miktarı belirlenmiştir.

Taze harç olarak hazırlanan tüm karışımlar, TS EN 998-1 standardının öngördüğü prensiplere göre 4x4x16 cm boyutundaki prizma kalıplara ve 5x5x5 cm boyutundaki küp kalıplara dökülmüştür. Bu

harç örnekleri, 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak, %95 bağıl nem ortamında ve oda sıcaklığında 2 gün kürlenmiş, sonrasında %65 bağıl nem oranında oda sıcaklığında 26 gün boyunca kürlemeye devam edilmiştir. 28 günlük kür süresini tamamlayan örneklerin kuru birim hacim ağırlık, kılcal (kapiler) su emme, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi teknik özellikleri bu sertleşmiş harç örnekleri üzerinde deneysel olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kıvam ve Karışım Suyu Miktarı

Karışımların taze harç kıvamına getirilebilmesi ve optimum su miktarının belirlenebilmesi amacıyla ASTM-C 230 [7] ve TS EN 1015-3 [8] standartlarına uygun akma tablası yöntemi kullanarak ölçülmüştür. Bu yöntemde taze harç olarak karışımın uygun su oranı, ilk yayılma çapının ortalama 165 ± 5 mm olması esas alınarak elde edilmiştir [9]. Kontrol harçları için yapılan akma tablası analizinde tüm seriler için uygun olan su/katı oranı 0,20 iken bu oran, pomza agregalı polimerik bileşenli hafif harçlarda 0,60, volkanik cüruf agregalı serilerde 0,55, vermikülit agregalı serilerde 0,70 olarak tespit edilmiştir. Taze harcın akma tablasındaki yayılma durumu ve deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan prizmatik ve küp numuneler Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Taze harcın akma tablasındaki yayılma durumu ve deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerden genel bir görünüm

3.2. Birim Hacim Ağırlık Analizi

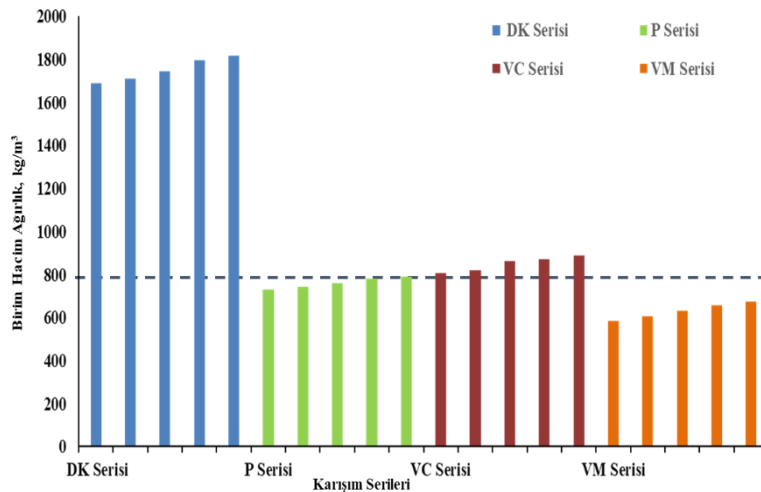
Kontrol harç örneklerinin ve polimerik bileşenli hafif kompozit harç örneklerinin 28 günlük priz sonrası birim hacim ağırlık değerleri TS EN 1015-10’a [10] göre belirlenmiş olup teknik değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’de görüldüğü gibi ana agregası dere kumundan oluşan (DK serisi) kontrol harçları %28’den %36’ya kadar farklı çimento oranlarına ait numune örneklerinin birim hacim ağırlıkları yaklaşık $1690-1816 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir. Kontrol harç serilerinde azalan A/Ç oranında çimento oranının artışına bağlı olarak birim hacim ağırlık değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Polimer katkının kullanıldığı pomza, volkanik cüruf ve vermikülit’den oluşan kompozit bileşenli hafif harçlarda ise birim hacim ağırlık değerleri $586-889 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler sırasıyla ana agregası pomza olan polimer katkılı hafif harçlarda (PK serisi) $729-791 \text{ kg/m}^3$, volkanik cüruf harçlarda (VC serisi) $808-889 \text{ kg/m}^3$, vermikülit agregalı harçlarda ise $586-674 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla üç farklı hafif agreganın ana hammadde olarak kullanıldığı kompozit bileşenli harç serilerinde en hafif sıva numuneleri 586 kg/m^3 birim hacim ağırlık değeri ile vermikülit agregalı %28 çimento oranında VM1 kodlu serilerden elde edilmiştir. Ayrıca yapılan birçok ArGe çalışmasında kuru birim hacim ağırlığı 800 kg/m^3 ve daha düşük değerde olan kompozit harç malzemelerinin TS EN 998-1 standardına göre T Grubu “Isı Yalıtımı Sağlayan Harç” grubunda yer alabildiği görülebilmektedir [11,12]. Bu bağlamda 3 farklı hafif agregalı polimer bileşenli kompozit harçların bütün serilerinde kuru birim hacim ağırlık değerleri yaklaşık olarak 800 kg/m^3 civarı ve altında kaldığı görülmüştür. Özellikle

dere kumu agregalı seriler 1600 kg/m^3 üzerinde, volkanik cüruf agregalı seriler ise 808 kg/m^3 üzerinde kalmıştır. (Şekil 3).

Tablo 2. Sertleşmiş harç numunelerinin analiz bulguları

Teknik Özellikler	Dere Kumu Agregalı Polimer Katkısız Kontrol Harçları				
	DK1	DK2	DK3	DK4	DK5
Agrega/Çimento Oranı (A/Ç)	2,16	1,95	1,77	1,60	1,46
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	1600	1712	1743	1794	1816
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	7,22	7,50	7,86	8,12	8,28
Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	2,66	2,78	2,88	3,42	3,66
Kapiler Su Emme ($\text{kg/m}^2 \text{ dak}^{0.5}$)	0,130	0,124	0,117	0,113	0,109
Teknik Özellikler	Pomza Agregalı Polimer Bileşenli Kompozit Harçlar				
	P1	P2	P3	P4	P5
Agrega/Çimento Oranı (A/Ç)	1,27	1,12	0,98	0,87	0,76
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	729	742	759	783	791
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	1,72	1,76	1,82	2,15	2,38
Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	0,63	0,66	0,68	0,82	0,90
Kapiler Su Emme ($\text{kg/m}^2 \text{ dak}^{0.5}$)	0,238	0,212	0,198	0,185	0,170
Teknik Özellikler	Volkanik Cüruf Agregalı Polimer Bileşenli Kompozit Harçlar				
	VC1	VC2	VC3	VC4	VC5
Agrega/Çimento Oranı (A/Ç)	1,27	1,12	0,98	0,87	0,76
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	808	821	862	871	889
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	1,96	2,04	2,12	2,44	2,56
Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	0,73	0,77	0,81	0,90	0,96
Kapiler Su Emme ($\text{kg/m}^2 \text{ dak}^{0.5}$)	0,251	0,236	0,218	0,196	0,184
Teknik Özellikler	Vermikülit Agregalı Polimer Bileşenli Kompozit Harçlar				
	VM1	VM2	VM3	VM4	VM5
Agrega/Çimento Oranı (A/Ç)	1,27	1,12	0,98	0,87	0,76
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	586	604	630	658	674
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	0,91	1,04	1,32	1,58	1,78
Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	0,42	0,56	0,78	0,80	0,98
Kapiler Su Emme ($\text{kg/m}^2 \text{ dak}^{0.5}$)	0,322	0,308	0,292	0,269	0,243

Bilindiği üzere, kompozit harç örneklerinin birçok teknik özelliği, kuru birim hacim ağırlığının bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir. Birim hacim ağırlık değerinin düşük olması o malzemenin binanın zemine verdiği ölü yükün azaltılmasında da son derece önem teşkil etmektedir [12].



Şekil 3. Sertleşmiş harç numunelerinin kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması

Bu yönden incelendiğinde teknik bir mukayese yapmak için bütün seriler içerisinde %30 çimento oranındaki harç örneklerinin birim hacim ağırlık değerleri karşılaştırılmıştır. Dere kumunun ana hammadde olarak kullanıldığı kontrol harç örneklerinin birim hacim ağırlık değerleri ortalama olarak 1712 kg/m^3 olarak tespit edilirken, bu değer pomza agregalı polimer bileşenli kompozit harçlarda 742 kg/m^3 , volkanik cüruf agregalı harçlarda 821 kg/m^3 , vermikülit agregalı harçlarda 604 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla kontrol harçlarına göre pomza agregalı harçların yaklaşık olarak %57, volkanik cüruf agregalı harçların %52, vermikülit agregalı harçların %65 oranında daha hafif olduğu tespit edilmiştir. Bu da günümüzde binaların dış ve iç cephe sıva uygulamalarında geleneksel harçlar yerine hafif agregalı kompozit harçların uygulanması yönünde küçümsenmeyecek bir rakamdır.

3.3. Basınç Dayanımı ve Eğilme Dayanımı Analizi

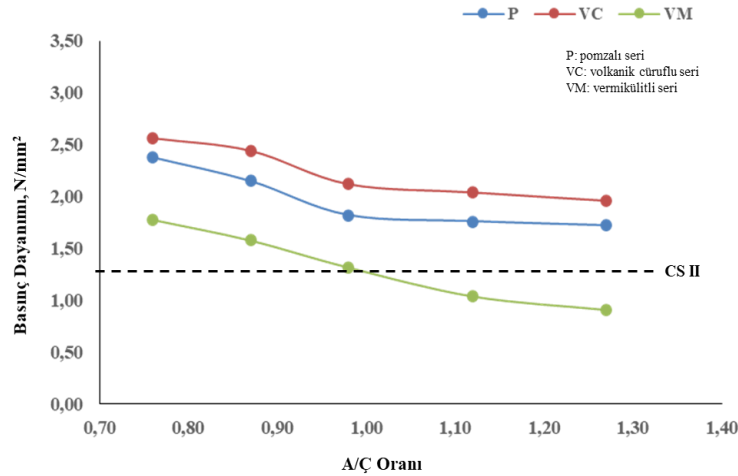
TS EN 998-1 standardında harç gruplarının 28 günlük basınç dayanım değerleri için, 4 ayrı dayanım sınıfı öngörülmüştür (CS I-CS IV). Bu sınıflarda dayanım sınırları şu şekilde verilmiştir:

CS I dayanım sınıfı için	: $0,4 - 2,5 \text{ N/mm}^2$
CS II dayanım sınıfı için	: $1,5 - 5,0 \text{ N/mm}^2$
CS III dayanım sınıfı için	: $3,5 - 7,5 \text{ N/mm}^2$
CS IV dayanım sınıfı için	: $\geq 6 \text{ N/mm}^2$

Kontrol harç örneklerinin ve polimer bileşenli hafif kompozit harç örneklerinin 28 günlük priz sonrası basınç dayanım değerleri TS EN 1015-11'e [13] göre belirlenmiş olup teknik değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Bu çalışmada sertleşmiş harç örneklerinin mekanik özellikleri Agregat/Çimento (A/Ç) oran değişimi bağlamında yapılmıştır. Basınç dayanımı ve A/Ç oran değişimine bağlı olarak yapılan grafiksel analiz Şekil 4'te verilmiştir. Ancak bu irdeleme grafikte görüldüğü üzere sadece hafif agregalı harçlarda yapılmıştır. Çünkü dere kumu ile üretilen kontrol harçlarının basınç dayanım değerleri, polimer bileşenli kompozit harç örneklerine göre daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Buda kontrol harçlarının yüksek birim hacim ağırlıkları ile ilişkilendirilebilir.

Ana hammaddesini pomza, volkanik cüruf ve vermikülitin oluşturduğu kompozit harç örneklerinin basınç dayanım değerlerinde, A/Ç oranı değişimi önemli bir rol oynamaktadır. Artan A/Ç oranında, 3 farklı agreganın bütün serilerinde geçerli olmak üzere kompozit yapının basınç dayanım değerini düşürdüğü gözlenmiştir. Diğer bir değişle çimento oranı arttıkça harç örneklerinin basınç dayanım değerleri de artmaktadır. Bu da beklenen bir sonuçtur. Ancak TS EN 998-1 standardında öngörülen sınır değerler açısından bir irdeleme yapmak gerekirse; Pomza ve volkanik cüruf agregalı seriler CS II sınıfı, vermikülit agregalı seriler ise CS I ve CS II sınıfı basınç dayanımı sergilediği görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı volkanik cüruf agregalı %36 çimento oranında VC5 kodlu seride görülmüştür.

Deneysel çalışmada, hafif agregaların kompozit harç üretimi amacıyla değerlendirilmesi analiz edildiğinde, TS EN 998-1 standardında özellikle birim hacim ağırlık değerleri düşük olan harçların 28 günlük basınç dayanım sınıfı açısından CS I ve CS II sınıfında yer alması öngörülmüştür [14]. Buna göre teknik bulgular irdelendiğinde %36 çimento kullanım oranına kadar hafif agrega ve polimer bileşenli tüm harç kombinasyonlarının basınç dayanım değerleri açısından bu değerlendirmenin içinde kaldığı görülmüştür. Diğer taraftan, dere kumu agregalı kontrol harç örneklerinin basınç dayanım değerleri $7,22-8,28 \text{ N/mm}^2$ arasında olup CS IV sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu olguda geleneksel harcı simgeleyen kontrol harçlarının (DK1-DK5) hafif harç kategorisinde yer almadığını veya diğer bir değişle standarttaki T grubu harç sınıfında yer almadığını kısmen işaret etmektedir.

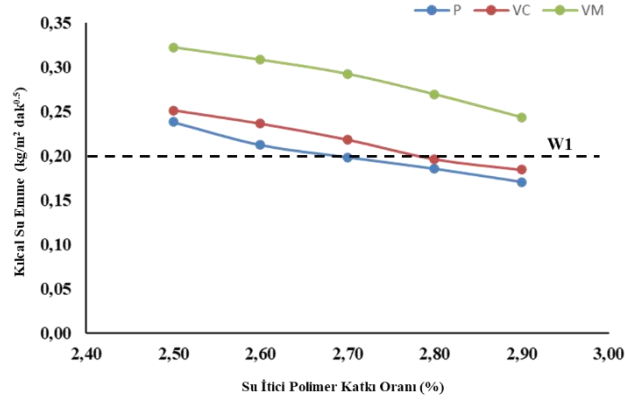


Şekil 4. Sertleşmiş harç örneklerinin A/Ç oranına göre basınç dayanım analizi

Bu makale çalışmasındaki diğer bir inceleme ise, harç örneklerinin eğilme dayanımlarının belirlenmesidir. Dış cephe sıva uygulamalarında eğilme dayanımı önemli bir mekanik özelliktir. Bu nedenle karışım tasarımlarında hafif agregalı kompozit harç örneklerinin eğilme dayanımı performans özelliklerini artırmak amacıyla karışımlarda sentetik lif katkı malzemesi kullanılmıştır. Kontrol harç serilerinde ise diğer polimer katkı ajanları kullanılmadığı gibi lif katkı malzemesi de kullanılmamıştır. TS EN 998-1 standardına göre 28 günlük priz süresini tamamlamış ve değişmez kütleyle kadar kurutulmuş karışım serisinden 3 adet sertleşmiş prizma örnekleri üzerinde eğilme dayanım analizleri yapılmış ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı DK5 kodlu ($3,66 \text{ N/mm}^2$) harç örneklerinde tespit edilmiştir. Kontrol harç örneklerinin eğilme dayanım değerleri diğer hafif agregalı bütün numunelerden daha yüksektir. Bu durum kontrol numunelerinin nispeten yüksek birim hacim kütleleri ile ilişkilendirilebilir. Pomza agregalı polimer bileşenli kompozit harç örneklerinde ortalama eğilme dayanım değerleri $0,63\text{-}0,90 \text{ N/mm}^2$, volkanik cüruf agregalı kompozit harç örneklerinde $0,73\text{-}0,96 \text{ N/mm}^2$, vermikülit agregalı harç örneklerinde $0,42\text{-}0,98 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. Özellikle vermikülit agregalı harç örneklerinde (VM1-VM5) basınç dayanım ile eğilme dayanımı arasındaki fark diğer hafif agregalı harç örneklerine göre daha azdır. Bunun nedeninin vermikülit agregasının esnek özelliğinin daha yüksek olması ve vermikülit agregasının harç içerisinde sentetik lif ile bağ yapma kuvvetinin daha fazla olduğunun gözlemlenmesidir.

3.4. Kılcal (Kapiler) Su Emme Analizi

Binaların dış cephe uygulamalarında sıva olarak kullanılacak malzemelerinin dış ortam koşullarına karşı dayanıklı olması beklenir. Özellikle bu tip malzemelerin bünyesine emdiği suya karşı direnç göstermesi (hidrofobik) çok önemlidir. Bu nedenle sektörel uygulamalarda harç ürünlerinin sertleştikten sonra su emme değerlerini düşük tutmak amacıyla birtakım polimerler taze harç karışımlarına düşük miktarlarda eklenmektedir [11]. Bu makale çalışmasında da hidrofob davranış gösteren diğer bir ifadeyle hemen hemen su geçirimsiz türde kompozit yapıda sıva harcı üretimi üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. Harç karışım tasarımlarında hafif agregalı bütün karışımlarda (P1-P5, VC1-VC5, VM1-VM5) sırasıyla %28 den %36 çimento oranına kadar ağırlıkça %2,5’den-%2,9 oranına kadar %0,1’lik oran artışı şeklinde su itici polimer katkı kullanılmıştır. Hafif kompozit yapıda polimer bileşenli harç örneklerinin kılcal (kapiler) su emme değerleri TS EN 1015-18’e [15] göre analiz edilmiş olup, teknik bulgular Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca sertleşmiş kompozit harçların su itici polimer katkı kullanım oranı ile kılcal (kapiler) su emme oranı arasındaki grafiksel ilişki Şekil 5’te verilmiştir. Su itici polimer katkı kullanım oranı arttıkça numunelerin kılcal (kapiler) su emme oranları azalmaktadır.



Şekil 5. Sertleşmiş harç örneklerinde su itici polimer katkı-kapiler su emme ilişkisi

TS EN 998-1 'e göre harç gruplarının kılcal (kapiler) su emme (c) değerleri için, 3 ayrı sınıf öngörülmüştür (W0–W2). Bu sınıflarda kılcal su emme sınır değerleri şu şekilde öngörülmektedir:

W0 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı: Belirlenmiş değer yoktur

W1 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı: $c \leq 0,40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0,5}$

W2 Kılcal (Kapiler) Su Emme Sınıfı: $c \leq 0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0,5}$

İnşaat endüstrisinde binaların dış cephe sıva malzemesi uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanan kompozit yapıdaki harçların TS EN 998-1 standardına göre W1 ve W2 sınıfında yer alması öngörülmüştür. Bu çalışmada en yüksek su itici katkı polimerinin kullanıldığı (ağırlıkça %2,9) pomza agregalı harçlarda kapiler su emme değeri $0,170 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0,5}$, volkanik cüruf agregalı harçlarda $0,184 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0,5}$, vermikülit agregalı harçlarda $0,243 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0,5}$ olarak ölçülmüştür. Bütün serilerde su itici katkı oranının artmasıyla birlikte kapiler su emme değerleri azalmaktadır. Dolayısıyla Pomzalı ve volkanik cürüflü harç örnekleri genellikle W1 sınıfında yer alırken, vermikülit agregalı seriler W1 -W2 sınıfında yer alabilmektedir. Bu bağlamda kapiler su emme özelliği bakımından bütün hafif agregalı kompozit harç serilerinde olumlu sonuçlar alınmıştır. Ayrıca çimento oranı artışına bağlı olarak kompozit harç daha fazla su geçirimsiz bir karakter sergilemektedir. Ancak tam manasıyla hidrofob özellik bakımından en performanslı seri %2,9 oranında su itici katkının kullanıldığı P5 kodlu pomza agregalı seridir.

Ayrıca deneysel çalışmalarda dere kumunun ana agrega olarak kullanıldığı kontrol harç örneklerinde de kılcal (kapiler) su emme analizleri yapılmış ve kapilarite değerleri $0,109-0,130 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0,5}$ arasında tespit edilmiştir. Polimer katkı kullanılmamasına rağmen dere kumlu serilerin kapilarite değerleri oldukça düşüktür. Çünkü dere kumu agregalarının gözenek oranı diğer hafif agregalara oranla oldukça düşüktür. Analizlerde kullanılan hafif agregaların su emme değerleri çok yüksektir. Bu nedenle özellikle hafif agregalı serilerde hidrofob özellik sağlayan polimer katkı kullanılmış ve elde edilen teknik verilerden önemli bir etki sağladığı görülmüştür.

3.5. SSPS Analizi

Bu makale çalışmasında diğer bir inceleme ise, SPSS (V26) programında çok değişkenli regresyon analizi yapılarak sonuçları etkileyen girdi parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. SPSS girdi değerleri harç içerisinde Pomza (P), Volkanik Cüruf (VC), Vermikülit (VM) ve Dere Kumunu (DK) olması durumunda 1 değeri, olmaması durumu için 0 değeri alınarak veri değerleri düzenlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Kompozit Harç Karışım Oranları ve Sonuç Değerleri SPSS Girdi Değerleri

Bileşenler	P1	P2	P3	P4	P5	VC 1	VC 2	VC 3	VC 4	VC 5	VM 1	VM 2	VM 3	VM 4	VM 5	DK 1	DK 2	DK 3	DK 4	DK 5	
Pomza Agregası	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Volkanik Cüruf Agregası	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vermikülit Agregası	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Dere Kumunu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0.5-1 mm (%)	21.3	20.1	18.9	17.7	16.5	21.3	20.1	18.9	17.7	16.5	21.3	20.1	18.9	17.7	16.5	33.8	32.6	31.4	30.2	29.0	
1-2 mm (%)	14.2	13.4	12.6	11.8	11.0	14.2	13.4	12.6	11.8	11.0	14.2	13.4	12.6	11.8	11.0	26.7	25.9	25.1	24.3	23.5	
B. Çimento (%)	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	28.0	30.0	32.0	34.0	36.0	
G. Perlit (%)	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Mik. Kalsit (%)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
T.Kireç (%)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	
Polimer Katkı(%)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
28. GÜN Birim hacim Ağırlık (kg/m ³)	729	742	759	783	791	808	821	862	871	889	586	604	630	658	674	1690	1712	1743	1794	1816	
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	1.72	1.76	1.82	2.15	2.38	1.96	2.04	2.12	2.44	2.56	0.91	1.04	1.32	1.58	1.78	7.22	7.50	7.86	8.12	8.28	
Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	0.63	0.66	0.68	0.82	0.90	0.73	0.77	0.81	0.90	0.96	0.42	0.56	0.78	0.80	0.98	2.66	2.78	2.88	3.42	3.66	
Kapilarite (kg/m ² dak ^{0.5})	0.24	0.21	0.20	0.19	0.17	0.25	0.24	0.22	0.20	0.18	0.32	0.31	0.29	0.27	0.24	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	

SPSS çok değişkenli regresyon analizi için 11 girdi değeri bağımsız değişken olarak tanımlanmış ve çıktı değeri olarak 28. gün birim hacim ağırlık (kg/m³), basınç dayanımı (N/mm²), eğilme dayanımı (N/mm²) ve kapilarite (kg/m² dak^{0.5}) değerleri bağımlı değişken olarak verilmiştir. Analiz sonucunda Volkanik Cüruf Agregası, Vermikülit Agregası, B. Çimento (BÇ) ve Polimer Katkı (PK) değerlerinin sonuç değerlerini etkileyen en önemli değişkenler olduğu belirlenmiştir. SPSS analizi sonucunda elde edilen lineer denklem katsayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. SPSS programı 28. gün birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kapilarite lineer denklem katsayıları

	BHA (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Kapilarite (kg/m ² dak ^{0.5})
Sabit Değer (Constant)	1374.6	4.464	0.964	0.353
Volkanik Cüruf Agregası	89.4	0.258	0.096	0.016
Vermikülit Agregası	-130.4	-0.640	-0.030	0.086
B. Çimento	11.763	0.104	0.066	-0.007
Polimer Katkı	-152.338	-0.897	-0.360	0.013

$$BHA=1374.6+89.40*VC -130.4* VM+11.763*BÇ (%) -152.338*PK (%) \quad (1)$$

$$\text{Basınç Dayanımı}=4.464+0.258*VC-0.640*VM+0.104*BÇ(%) -0.897*PK (%) \quad (2)$$

$$\text{Eğilme Dayanımı}=0.964+0.096*VC-0.030*VM+0.066*BÇ(%) -0.360*PK (%) \quad (3)$$

$$\text{Kapilarite}=0.353+0.016* VC-0.086*VM-0.007*BÇ(%) +0.013*PK (%) \quad (4)$$

Denklem 1-4 kullanılarak hesaplanan 28. gün birim hacim ağırlık (kg/m³), basınç dayanımı (N/mm²), eğilme dayanımı (N/mm²) ve kapilarite (kg/m² dak^{0.5}) değerleri ile deney sonuçları

değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Ortalama % hata değerleri BHA için %0.77, basınç dayanımı için % 2.83, eğilme dayanımı için %8.52 ve kapilarite için %7.17 olarak belirlenmiştir. Özellikle BHA ve basınç dayanımı değerleri lineer denklem kullanılarak deney verilerine çok yakın sonuçların hesaplanabileceği görülmektedir.

Tablo 5. Deney ve SPSS Lineer Denklem Analiz Sonuçları

Volkanik Cüruf Agregası	Vermikülit Agregası	B. Çimento (%)	Polimer Katkı (%)	BHA (kg/m ³)	BHA Regresyon (kg/m ³)	Hata Oranı %	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı Regresyon (N/mm ²)	Hata Oranı %	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı Regresyon (N/mm ²)	Hata Oranı %	Kapilarite (kg/m ² dak ^{0.5})	Kapilarite Regresyon (kg/m ² dak ^{0.5})	Hata Oranı %		
0	0	28	6.5	729	713	2.08	1.72	1.55	0.10	0.63	0.47	0.25	0.24	0.24	0.01		
0	0	30	6.5	742	737	0.63	1.76	1.75	0.00	0.66	0.60	0.08	0.21	0.23	0.07		
0	0	32	6.5	759	760	0.23	1.82	1.96	0.08	0.68	0.74	0.08	0.20	0.21	0.08		
0	0	34	6.5	783	784	0.17	2.15	2.17	0.01	0.82	0.87	0.06	0.19	0.20	0.08		
0	0	36	6.5	791	807	2.13	2.38	2.38	0.00	0.90	1.00	0.11	0.17	0.19	0.09		
1	0	28	6.5	808	803	0.60	1.96	1.80	0.08	0.73	0.57	0.22	0.25	0.26	0.03		
1	0	30	6.5	821	826	0.69	2.04	2.01	0.01	0.77	0.70	0.09	0.24	0.24	0.03		
1	0	32	6.5	862	850	1.37	2.12	2.22	0.05	0.81	0.83	0.03	0.22	0.23	0.05		
1	0	34	6.5	871	874	0.31	2.44	2.43	0.01	0.90	0.96	0.07	0.20	0.22	0.10		
1	0	36	6.5	889	897	0.93	2.56	2.64	0.03	0.96	1.10	0.14	0.18	0.20	0.10		
0	1	28	6.5	586	583	0.45	0.91	0.91	0.00	0.42	0.44	0.05	0.32	0.33	0.02		
0	1	30	6.5	604	607	0.48	1.04	1.11	0.07	0.56	0.57	0.02	0.31	0.31	0.02		
0	1	32	6.5	630	630	0.07	1.32	1.32	0.00	0.78	0.71	0.09	0.29	0.30	0.03		
0	1	34	6.5	658	654	0.62	1.58	1.53	0.03	0.80	0.84	0.05	0.27	0.29	0.06		
0	1	36	6.5	674	677	0.51	1.78	1.74	0.02	0.98	0.97	0.01	0.24	0.27	0.12		
0	0	28	0	1690	1704	0.83	7.22	7.38	0.02	2.66	2.81	0.06	0.13	0.16	0.21		
0	0	30	0	1712	1727	0.90	7.50	7.58	0.01	2.78	2.94	0.06	0.12	0.14	0.15		
0	0	32	0	1743	1751	0.46	7.86	7.79	0.01	2.88	3.08	0.07	0.12	0.13	0.10		
0	0	34	0	1794	1774	1.08	8.12	8.00	0.01	3.42	3.21	0.06	0.11	0.12	0.02		
0	0	36	0	1816	1798	0.99	8.28	8.21	0.01	3.66	3.34	0.09	0.11	0.10	0.07		
Ortalama hata %						0.78				2.83				8.52			7.17

SPSS analizi ile sonuçları en çok etkileyen volkanik cüruf agregası, vermikülit agregası, beyaz çimento ve polimer katkı girdi değerleri olarak tanımlanmış ve MATLAB programında ANFİS ile modellenmesi yapılmıştır. 20 deney sonucundan 16 tanesi eğitim için ve 4 tanesi test için seçilerek ANFİS modeli oluşturulmuştur. 4 girdi (Volkanik Cüruf Agregası, Vermikülit Agregası, B. Çimento ve Polimer Katkı) değerine karşılık BHA, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kapilarite değeri

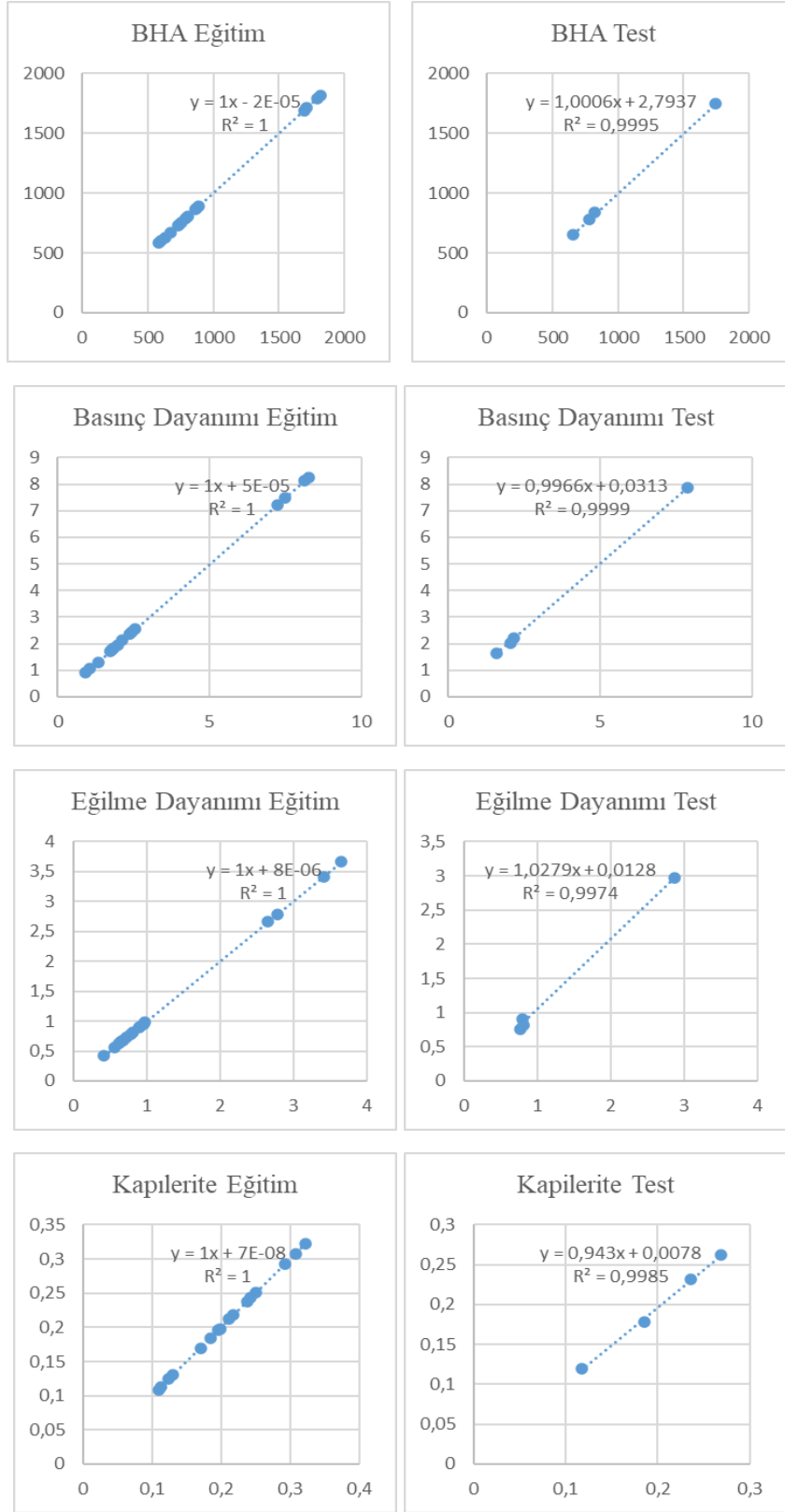
belirlenmiştir. Her değişken için 3 ara katman tanımlanarak eğitim verileri ile ANFİS modeli eğitilmiş ve test edilmiştir. Deney verileri ile ANFİS sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması için eğitim verileri ve test verilerinin eğim çizgileri Şekil 6’ da verilmiştir

Tablo 6. Deney verileri ile ANFİS sonuçları

	Volkanik Curuf Agregası	Vermikülit Agregası	B. Çimento (%)	Polimer Katkı (%)	BHA (kg/m ³)	BHA ANFİS (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Basınç Dayanımı ANFİS (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Eğilme Dayanımı ANFİS (N/mm ²)	Kapilarite (kg/m ² dak ^{0,5})	Kapilarite ANFİS (kg/m ² dak ^{0,5})
ANFİS Eğitim Verileri	0	0	28	6.5	729	729	1,72	1,73	0,630	0,634	0,238	0,238
	0	0	30	6.5	742	742	1,76	1,75	0,660	0,653	0,212	0,212
	0	0	32	6.5	759	759	1,82	1,82	0,680	0,683	0,198	0,198
	0	0	36	6.5	791	791	2,38	2,38	0,900	0,900	0,170	0,170
	1	0	28	6.5	808	808	1,96	1,96	0,730	0,730	0,251	0,251
	1	0	32	6.5	862	862	2,12	2,12	0,810	0,808	0,218	0,218
	1	0	34	6.5	871	871	2,44	2,42	0,900	0,905	0,196	0,196
	1	0	36	6.5	889	889	2,56	2,57	0,960	0,957	0,184	0,184
	0	1	28	6.5	586	586	0,91	0,90	0,420	0,420	0,322	0,322
	0	1	30	6.5	604	604	1,04	1,06	0,560	0,560	0,308	0,308
	0	1	32	6.5	630	630	1,32	1,31	0,780	0,780	0,292	0,292
	0	1	36	6.5	674	674	1,78	1,78	0,980	0,980	0,243	0,243
	0	0	28	0	1690	1690	7,22	7,23	2,660	2,659	0,130	0,130
	0	0	30	0	1712	1712	7,50	7,49	2,780	2,781	0,124	0,124
	0	0	34	0	1794	1794	8,12	8,14	3,420	3,419	0,113	0,113
	0	0	36	0	1816	1816	8,28	8,27	3,660	3,661	0,109	0,109
ANFİS Test Verileri	0	0	34	6.5	783	778	2,15	2,20	0,820	0,823	0,185	0,179
	1	0	30	6.5	821	840	2,04	2,02	0,770	0,760	0,236	0,232
	0	1	34	6.5	658	655	1,58	1,63	0,800	0,912	0,269	0,262
	0	0	32	0	1743	1745	7,86	7,87	2,880	2,973	0,117	0,120

Şekil 6’daki grafikler incelendiğinde eğitim verileriyle oluşturulan ANFİS modelinin test verilerinde %99 doğruluk ile sonuçların hesaplanabildiğini göstermektedir.

SPSS ve ANFİS sonuçları deneyde girdi değeri olarak alınan 11 değişkenden volkanik cüruf agregası, vermikülit agregası, beyaz çimento ve polimer katkı değerlerinin BHA, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kapilarite değerlerini değiştirdiğini, diğer girdi değerlerinin sonuca etkisinin çok az olduğunu göstermiştir.



Şekil 6. Eğitim verileri ve test verilerinin karşılaştırılması

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada dere kumu, pomza, volkanik cüruf ve vermikülit agregalarının iki farklı boyutta (0,5-1 mm ve 1-2 mm) kullanıldığı toplamda 20 adet çimento esaslı kompozit formda harç örnekleri

hazırlanmıştır. Her bir agreganın ana hammadde olarak kullanıldığı karışımlarda %28-%36 arasındaki çimento oranlarında %2 artırmalı olacak şekilde 5 farklı karışım tasarımları yapılmıştır. Makalede, dere kumlu seriler (DK1-DK5), pomzalı seriler (P1-P5), volkanik cürüflü seriler (VC1-VC5), vermikülitli seriler (VM1-VM5) olarak kodlandırılmıştır. Her bir seriden küp ve prizma numuneleri dökülmüş ve priz sürelerini tamamlayan sertleşmiş harç örnekleri üzerinde TS EN 998-1 standardının öngördüğü prensiplere göre bir dizi teknik analizleri yapılmıştır. Teknik bulgular ışığında farklı orijindeki hafif agregaların kompozit harçlar üzerindeki etkileri ve standarda göre tüm sınıflamaları detay olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmada, inşaat sektöründe, binaların iç ve dış cephe uygulamalarında kullanılan geleneksel harcı temsil etmesi amacıyla bir kontrol harcı geliştirilmiş ve bu harç örneklerinden elde edilen teknik bulgular mukayese kriteri olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada üretilen 5 farklı serideki kontrol harçlarının kuru birim hacim ağırlık değerleri 1690-1816 kg/m³ iken pomza agregalı harçlarda 729-791 kg/m³, volkanik cüruf agregalı harçlarda 808-889 kg/m³, vermikülit agregalı harçlarda ise 586-674 kg/m³ arasında belirlenmiştir. Dolayısıyla kontrol harçlarına göre pomza agregalı harçların yaklaşık olarak %57, volkanik cüruf agregalı harçların %52, vermikülit agregalı harçların %65 oranında daha hafif olduğu tespit edilmiştir. Böylece kompozit harçların ana hammaddesini hafif agregaların oluşturması ve polimer bileşenlerinde katkısıyla birim hacim ağırlık değerlerinin çok düşük rakamlara çekilebildiği görülmüştür. Buda binanın zemine olan yükünün azaltılması ve harç malzemenin ısısal konfor özelliklerinin iyileştirilmesi açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Diğer bir irdeleme ise sertleşmiş harç örneklerinin basınç dayanımı ve eğilme dayanımlarının belirlenmesidir. Özellikle polimer bileşenli hafif agregalı harçların standardın öngördüğü basınç dayanım sınıflarını sağlayıp sağlamadığının tespit edilmesidir. Polimer bileşenli bu kompozit harçların basınç dayanımları çimento miktarı arttıkça yükselmektedir. Buna göre sırasıyla basınç dayanım değerleri, pomza agregalı harçlarda 1,72-2,38 N/mm², volkanik cüruf agregalı harçlarda 1,96-2,56 N/mm² ve vermikülit agregalı harçlarda 0,91-1,78 N/mm² arasında değişmektedir. Dolayısıyla hafif agregalı bütün seriler TS EN 998-1 standardının öngördüğü CS I ve CS II basınç dayanım sınıfına dahil olmuştur. En yüksek basınç dayanımı ise VC kodlu volkanik cüruf agregalı harçlarda görülmüştür. Bu makale çalışmasındaki diğer bir inceleme ise, harç örneklerinin eğilme dayanımlarının belirlenmesidir. Harç karışım tasarımlarında hafif agregalı kompozit harç örneklerinin eğilme dayanımı performans özelliklerini artırmak amacıyla karışımlarda sentetik lif katkı malzemesi kullanılmıştır. Hafif agregalı kompozit harçlar içerisinde genellikle en yüksek eğilme dayanımları volkanik cüruf agregalı serilerde belirlenmiştir. Ancak rakamsal büyüklük olarak en yüksek eğilme dayanımı VM5 kodlu vermikülit agregalı (%36 çimento) numunelerde ölçülmüştür. Ayrıca dikkate değer diğer bir husus ise, vermikülit agregalı harç örneklerinde (VM1-VM5) basınç dayanım ile eğilme dayanımı arasındaki fark diğer hafif agregalı harç örneklerine göre daha azdır. Bunun nedeninin vermikülit agregasının jeolojik oluşum özelliğinin diğer pomza ve volkanik cüruf dan farklı olmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Pomza ve volkanik cüruf volkanik faaliyetler sonucu oluşan gözenekli volkanik kayalardır. Vermikülit ise mikanın doğal aşınmasıyla oluşmuş bir magnezyum alümino silikat kil mineralidir. Ayrıca vermikülitlerin belirgin bir özelliği yüksek sıcaklıkta genleştirilmiş olmasından dolayı formları literatürde pul pul dökülmüş vermikülit olarak isimlendirilmektedir. Pomza ve volkanik cüruf lar gözenekli yapılarından dolayı daha kırılğan bir yapı sergilerken, vermikülitler ise daha esnek bir yapıdadır. Ayrıca taze harç karışımlarda lif katkının harçlar ile bağ yapma kuvveti incelendiğinde en ideal harç formunun vermikülit agregalı harçlarda olduğu görülmüştür.

Son olarak çalışmadaki diğer bir inceleme ise özellikle hafif agregalı kompozit harçların suya karşı hidrofobik özelliklerinin tespit edilmesidir. İnşaat endüstrisinde binaların dış cephe sıva malzemesi uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanan kompozit yapıdaki harçların TS EN 998-1 standardına göre W1 ve W2 sınıfında yer alması öngörülmüştür. Çalışmadaki bütün hafif agregalı

serilerin W1 ve W2 sınıfında yer aldığı görülmüştür. Ancak suya karşı en dirençli yani en hidrofob karışım tasarımı %2,9 su itici katkının kullanıldığı kapiler su emme değeri $0,170 \text{ kg/m}^2 \text{ dak}^{0.5}$ olan pomza agregalı P5 serisidir. Oysaki pomza gözenekli bir yapısı olmasına rağmen su itici katkı diğer hafif agregalı kompozit yapıdaki harçlara göre suya karşı direncini daha da artırdığı görülmüştür.

Yapılan bu çalışma ile ilgili standartlar kapsamında, sadece ana agregasını pomza, volkanik cüruf veya vermikülitin oluşturduğu kompozit yapıda polimer bileşenli harçlar oluşturulabileceği görülmüştür. Her bir hafif agrega kompozit yapıya fiziko-mekanik açıdan önemli özellikler katmıştır. Her bir seri için bütün teknik parametreler ayrıntılı olarak makale içerisinde açıklanmıştır. Polimer katkıları ise harçların kıvam, suya karşı direnç ve eğilme dayanımı özelliklerini iyileştirmiştir. Yeni nesil malzeme olarak isimlendirdiğimiz bu harçların teknolojik olarak geleneksel harçlara oranla çok daha üstün özellikler sergilediği görülmüştür. Ayrıca inşaat endüstrisine katma değer sağlaması amacıyla farklı hafif agregalardan üretilmiş kompozit harçların yeni bir kullanım alanına da ışık tutması amaçlanmıştır.

Farklı bir çalışmada ise, hafif agregalı kompozit yapıdaki bu harç karışımlarından standartlarda belirtilen boyutlarda numuneler üretilerek ısı performans özellikleri test edilecek ve birim hacim ağırlıkları bakımından gerekli teknik mukayeseleri yapılacaktır. Sonuçlar farklı bir makale çalışmasında paylaşılacaktır. Yine farklı bir çalışmada farklı dolgu materyalleri ve atık kategorisindeki endüstriyel ürünler kullanılarak kompozit yapıda harç karışım tasarımları yapılabilir. Bu tasarımlardan elde edilen ürünler inşaat da sıva, kaplama malzemesi, plaka ürünler şeklinde kullanılabilir. Böylece endüstriye ve literatüre önemli katkılar sağlanabilir.

Yazarların Katkıları

MS ve NŞ çalışmaları yapmış ve makalenin yazımını gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. Kalkan O.Ş., Gündüz L., “Effect of Porous Aggregate Size on the Techno-Mechanical Properties of Cementless Lightweight Mortars”, *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 2018, 5(1):168-175.
- [2]. Gündüz L., Kalkan O.Ş., “A Technical Evaluation on the Determination of Thermal Comfortparametric Properties of Different Originated Expanded and Exfoliated Aggregates”, *Arabian Journal of Geosciences*, 2019, 12:119.
- [3]. Şapcı N., “Doğal Kayaç Bileşenli Genleşmiş Cam Agregası Üretimi ve Endüstriyel Olarak Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013, Isparta.
- [4]. Gündüz L., Kalkan O.Ş., “Lightweight Cellular Hollow Concrete Blocks Containing Volcanic Tuff Powder, Expanded Clay and Diatomite for Non-Load Bearing Walls”, *Teknik Dergi*, 2020, 31(6):10291-10313.
- [5]. Kalkan O.Ş., Gündüz L., “Yeni Nesil Kompozit Harçlarda Polimer Kullanımları Üzerine Bir İnceleme”, *Chemical Admixtures on Structures 5th International Symposium and Exhibition*, Ankara, 253-267, 2017.
- [6]. TS EN 998-1, “Kâgir Harcı-Özellikler-Bölüm 1: Kaba ve İnce Sıva Harcı”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.

- [7]. ASTM C230/C230M-08, “Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement”, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2008.
- [8]. TS EN 1015-3, “Kagir Harcı- Deney Metotları- Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayıma Tablası İle)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [9]. Gündüz L., Bekar M., Şapcı N., “Influence of a New Type of Additive on The Performance of Polymer-Lightweight Mortar Composites, Cement and Concrete Composite, 2007, 29(8): 594-602.
- [10]. TS EN 1015-10, “Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2001.
- [11]. Şapcı, N., Gündüz, L., “Kayseri Bölgesi Pomza Oluşumlarının Yalıtımlı Kompozit Harç Üretimlerinde Kullanımı Üzerine Bir İnceleme”, International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies, Bandırma/Balıkesir, 69-83, 2021.
- [12]. Şapcı N., “Technical Evaluation of Composite Component Mortars in the Production of Cement-Based Exterior Coating Materials”, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2021, 8(2):981-993.
- [13]. TS EN 1015-11, “Kagir Harcı–Deney Metotları–Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [14]. Kalkan O.Ş., Gündüz L., “Dış Cephe Mimari Uygulamalarda Yeni Nesil Kompozit Bileşenli Harçların Teknik Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma”, 1. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli, 99-101, 2015
- [15]. TS EN 1015-18, “Kâgir Harcı-Deney metotları- Bölüm 18: Sertleşmiş Harcın Kapiler Etkiler Esnasında Su Emme Katsayısının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.